饲粮非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维对肉公犊牛生长性能和营养物质消化代谢的影响[1]

李岚捷[1,2] 成述儒[2] 刁其玉[1] 付 彤[3] 王安思[3] 李 明[3] 屠 焰[1*]

（1.中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点试验室，北京 100081；2.甘肃农业大学动物科学技术学院，兰州 730070；3.河南农业大学牧医工程学院，郑州 450002）

摘 要：本试验旨在研究非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维（NFC/NDF）对断奶肉公犊牛生长性能、血清生化指标和营养物质消化代谢的影响。选取 2~3 月龄健康、平均体重为（94.38±0.25） kg 的断奶肉公犊牛 60 头，随机分为 4 组，每组 15 头。分别饲喂粗蛋白质水平相近，NFC/NDF 分别为 1.35（A 组）、1.23（B 组）、0.94（C 组）和 0.80（D 组）的 4 种全混合日粮。试验期 105 d，其中预试期 15 d，正试期 90 d。每日测定采食量，每隔 15 d 测量犊牛的体重；于 15、30、45、60、75 和 90 d 颈静脉采血测定血清葡萄糖（GLU）、生长激素（GH）、胰岛素样生长因子-Ⅰ（IGF-Ⅰ）、瘦素（LEP）、胰岛素（INS）、胰高血糖素（PG）和甘油三酯（TG）的浓度；分别在 3 0 和 90 d 时以全收粪尿法进行消化代谢试验。结果表明：1）高 NFC/NDF 饲粮提高了犊牛的平均日增重，A 组显著高于其他 3 组（$P<0.05$）；2）A 组血清 LEP 浓度显著高于 C 组和 D 组（$P<0.05$），D 组血清 IGF-Ⅰ浓度显著高于其他各组（$P<0.05$）；3）90 d 时，干物质、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的表观消化率及总能消化率、总能代谢率和消化能代谢率随饲粮 NFC/NDF 的降低而降低，A 组均显著高于 D 组（$P<0.05$），D 组甲烷能显著高于其他组（$P<0.05$），A 组尿能、尿氮和消化氮显著高于 B 组和 C 组（$P<0.05$）。综上所述，NFC/NDF 为 1.35 的饲粮可以满足 3~6 月龄肉犊牛对营养物质的需求，采食该饲粮不但可以使肉犊牛保持较高的平均日增重(1.14 kg/d)，而且此饲粮易消化利用，采食后相关血清生化指标均在正常范围内，并未影响犊牛健康。

关键词：肉犊牛；非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维；生长性能；血清生化指标；消化代谢

收稿日期：2016-12-05
基金项目：公益性行业科技项目“南方地区幼龄草食畜禽饲养技术研究与应用”（201303143）；河南省科技开放合作项目“肉用犊牛早期断奶能量需要研究及早期断奶犊牛料的开发”（152106000029）；河南省现代农业产业技术体系建设专项资金（Z-2013-08-01）
作者简介：李岚捷（1992-），甘肃陇西人，硕士研究生，从事动物遗传育种与繁殖研究。E-mail: 3034368036@qq.com
*通信作者：屠 焰，研究员，博士生导师，E-mail： tuyan@caas.cn

中图分类号：S823

根据《中国畜牧业统计年鉴》[1]，我国 2013 年活牛存栏量占世界同期的 10%，为 10 420.5 万头；活牛出栏数量从 2009 年的 4 602 万头上升到 2013 年的 4 828 万头；牛肉产量在 2009—2014 年间从 635.54 万 t 上升到 689 万 t，分别占我国肉类总产量和全球牛肉总产量的 7.95%和 11.8%，是除美国和巴西外的另一牛肉生产大国。

有研究发现，精料高的饲粮可发酵碳水化合物含量高，使瘤胃中挥发性脂肪酸（VFA）含量升高，丙酸和丁酸所占比例增加，促进瘤胃上皮的发育[2]，更利于营养物质在全消化道的消化吸收[3]。但也有研究表明，饲粮中精料比例影响了内格尔公羔粗蛋白质（CP）表观消化率，对其他营养物质表观消化率无影响[4]。血清生化指标可以反映机体所食饲粮是否满足其需要，体内新陈代谢是否稳定，体内外环境是否维持平衡，进而推断机体生长发育与健康情况[5]。有研究表明，改变饲粮结构会影响血清生化指标及某些激素、生长因子等指标[6]。目前研究基本集中在羊和成年牛上，在 3~6 月龄肉公犊牛方面的报导较少，而且对于此阶段犊牛较适宜的非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维（NFC/NDF）没有统一的报道。此外，3~6 月龄犊牛处于生长发育的重要的阶段，其胃肠道发育并不完善，选择适宜的 NFC/NDF 饲粮利于其胃肠道发育和微生物菌群的建立，同时利于后续的饲养管理。本试验通过对肉犊牛生长性能、血清生化指标和营养物质消化代谢的研究，探讨 3~6 月龄犊牛饲粮适宜 NFC/NDF，旨在为肉用公犊牛的营养需要提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验时间与地点

本试验于 2015 年 10 月至 2016 年 4 月在河南农业大学许昌试验基地进行。

1.2　试验材料

本试验采用单因素试验设计。选用 60 头夏杂牛 2~3 月龄早期断奶肉公犊牛，平均体重（94.38±0.25） kg，随机分成 4 组，每组 15 头。根据犊牛体重和营养需要特点，参照中国《肉牛饲养标准》（NY/T 815—2004)体重 150 kg、日增重 1.0 kg/d 犊牛营养需要量，配制 CP 含量为 11.70%左右，NFC/NDF 分别为 1.35（A）、1.23（B）、0.94（C）和 0.80（D）的 4 种试验饲粮，其组成及营养水平见表 1，以全混合日粮（TMR）形式饲喂。试验期 105 d，其中预试期 15 d，正试期 90 d。

表 1 试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis) %

项目 Items	组别 Groups			
	A	B	C	D
原料 Ingredients				
玉米 Corn	43.62	48.00	39.06	30.03
麸皮 Wheat bran	15.00			
豆粕 Soybean meal	2.90	4.30	3.38	2.57
干酒糟及其可溶物 DDGS	15.00	15.00	15.00	15.00
石粉 Limestone	0.20	0.61	0.42	0.21
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.78	0.59	0.64	0.69
预混料 Premix[1)]	1.00	1.00	1.00	1.00
食盐 NaCl	0.50	0.50	0.50	0.50
苜蓿 Alfafa	20.00	25.00	30.00	35.00
羊草 Chinese wild rye		5.00	10.00	15.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]				
干物质（风干基础） DM （air-dry basis）	91.80	90.50	91.24	91.58
粗蛋白质 CP	16.34	16.42	16.44	16.38
粗脂肪 EE	3.71	3.54	4.09	3.82
粗灰分 Ash	7.57	7.93	7.11	7.44
中性洗涤纤维 NDF	34.43	37.14	42.78	45.33
酸性洗涤纤维 ADF	15.34	18.33	22.54	25.44
钙 Ca	1.05	1.08	1.10	1.14
总磷 TP	0.45	0.45	0.41	0.47
代谢能 ME/(MJ/kg)	11.20	10.87	10.37	9.79
非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维 NFC/NDF	1.35	1.23	0.94	0.80

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the concentrate:VA 15 000 IU，VD 5 000 IU，VE 50 mg，Fe 90 mg，Cu 12.5 mg，Mn 60 mg，Zn 100 mg，Se 0.3 mg，I 1.0 mg，Co 0.5 mg。

[2)] 代谢能为计算值，代谢能=总能-粪能-尿能-甲烷能，其中甲烷能采用六氟化硫示踪法[7]测定，其他营养水平为实测值。ME was a calculated value, ME=GE-FE-UE-CH_4E, and CH_4E was measured using SF_6 tracer method[7]; while the other nutrient levels were measured values.

1.3 饲养管理

犊牛进场后清晨空腹称重，佩戴耳标和进行驱虫处理，再置于犊牛岛（4.5 m×1.5 m）内单栏饲养。给每头犊牛提供水槽、食槽，每周清粪和消毒各 1 次。采食量按体重的 3.3%干物质（DM）供给全混合日粮（TMR），每天晨饲前收集每头牛的剩料量，计算每日采食量。

1.4 样品收集与测定

1.4.1 生长性能测定

每天晨饲前收集每头牛的剩料量，计算干物质采食量（DMI）；试验开始后分别在1、15、30、45、60、75和90 d晨饲前单独称量每头牛体重并计算每组平均日增重（ADG）。

1.4.2 血清样品采集与分析

试验开始后，每组随机选取6头体况良好和健康的犊牛分别于15、30、45、60、75和90 d晨饲前颈静脉采血装于10 mL的离心管中，4 000 r/min离心30 min，取上层血清于4个1.5 mL的离心管中，-20 ℃冷冻保存待测。

采用比色法（日本日立7160全自动生化仪）对血清中的葡萄糖（GLU）和甘油三酯（TG）浓度进行测定；用酶免法（STAT FAX-2100全自动酶标仪）测定血清生长激素（GH）、瘦素（LEP）、胰岛素样生长因子-Ⅰ（IGF-Ⅰ）和胰高血糖素（PG）浓度；用放射性免疫法（XH-6020全自动放免计数仪）对血清胰岛素（INS）浓度进行测定。

1.4.3 粪、尿样品的采集与分析

在犊牛30和90 d时采用全收粪尿法用消化代谢笼进行2次消化代谢试验。试验期6 d，其中预试期2 d，正试期4 d，记录每头犊牛每天采食量、总排粪量和总排尿量。连续收集每头牛混匀后粪便样100 g，加10%的硫酸50 mL固氮；连续收集每头牛尿样100 mL，加10%的硫酸10 mL固氮。所有样品-20 ℃冷冻保存待测。

粪样：CP含量用凯氏定氮仪测定，中性洗涤纤维（NDF）和酸性洗涤纤维（ADF）含量用ANKOM 200 Fiber Analyzer测定，总能（GE）用PARR-6400全自动氧弹量热仪测定，同时测定样品的DM、有机物（OM）含量[8]。

尿样：尿氮采用凯氏定氮法，尿能采用PARR-6400全自动氧弹量热仪测定[8]。

甲烷能（CH_4E）测定：参照六氟化硫示踪法进行测定[7]。消化代谢试验开始的同时用气体收集袋（光明化工研究设计院）收集每头牛24 h呼出的气体，连续收集4 d。SF_6渗透速率通过气相色谱仪（上海舜宇恒平，GC1120）和氮、氢、空气发生器（北京汇佳精仪工贸有限公司，GTL-300/500/1000）测定，甲烷（CH_4）排放量通过气相色谱仪（上海精学科学仪器有限公司，GC-4000A）测定。

$$CH_4\text{排放量}=QSF_6\times[CH_4]/[SF_6]$$ [9]；

$$CH_4E(MJ/d)=39.75\times CH_4 排放量^{[10]}。$$

式中：QSF_6为六氟化硫的释放速率；$[CH_4]$为采样气体的甲烷浓度；$[SF_6]$为采样气体中六氟化硫的浓度。

1.6 数据统计分析

试验数据用SAS 8.1软件进行MIXED和ANOVA进行显著性检验，差异显著时用LSD法和Duncan氏法进行多重比较检验，P＜0.05为差异显著，0.05≤P＜0.10为有显著差异的趋势。

2 结果与分析

2.1 肉犊牛生长性能

由表 2 可知，试验全期（1~90 d）A 组肉犊牛 ADG 显著高于其他 3 组（P＜0.05），分别高 14.00%、20.00%、23.91%；31~45 d 和 76~90 d 时，A 组 ADG 显著高于 B 组（P＜0.05），其他各组间差异不显著（P>0.05）。试验全期肉犊牛 DMI 与饲料转化率未受饲粮 NFC/NDF 的影响（P>0.05）。但 DMI 在 16~30 d 时，C 组显著低于 A 组（P＜0.05）。

试验全期肉犊牛 ADG、DMI 和 F/G 均受日龄影响极显著（P<0.01）；ADG 和 F/G 不受组别与日龄交互作用的影响（P>0.05），DMI 受组别与日龄交互作用影响显著（P＜0.05）。

表 2 饲粮 NFC/NDF 对肉犊牛生长性能的影响

Table 2 Influences of dietary NFC/NDF on growth performance of meat calves

项目 Items	组别 Groups				SEM	固定效应 P P-value of fixed effects		
	A	B	C	D		组别 Group	日龄 Days of age	组别×日龄 Group×days of age
平均日增重 ADG/(kg/d)								
1~90 d	1.14[a]	1.00[b]	0.95[b]	0.92[b]	0.027	0.036 2	<0.000 1	0.114 3
1~15 d	1.13	0.97	0.96	1.07	0.048	0.198 8		
16~30 d	1.09	0.88	0.92	0.97	0.042	0.106 1		
31~45 d	1.34[a]	1.09[b]	1.13[ab]	1.19[ab]	0.046	0.046 9		
46~60 d	1.16	1.06	0.93	0.98	0.051	0.080 8		
61~75 d	1.18	1.25	1.17	1.06	0.053	0.139 7		
76~90 d	1.18[a]	0.85[b]	0.72[bc]	0.61[c]	0.057	<0.000 1		
干物质采食量 DMI/(kg/d)								
1~90 d	4.09	3.81	3.79	3.85	0.105	0.605 4	<0.000 1	0.027 3
1~15 d	3.28	2.93	3.04	3.12	0.128	0.289 2		
16~30 d	3.79[a]	3.33[ab]	2.95[b]	3.46[ab]	0.113	0.012 7		
31~45 d	4.57	4.47	4.40	4.52	0.123	0.623 9		
46~60 d	4.24	4.04	4.06	4.12	0.112	0.547 3		
61~75 d	5.01	4.62	4.52	4.46	0.123	0.096 3		

76~90 d	3.95	3.53	3.65	3.44	0.098	0.121 3		
饲料转化率 Feed conversion rate								
1~90 d	3.65	3.81	4.02	4.15	0.085	0.169 0	0.000 4	0.759 7
1~15 d	2.93	3.19	3.44	3.79	0.175	0.083 7		
16~30 d	3.62	4.07	3.37	4.01	0.187	0.167 8		
31~45 d	3.56	4.52	4.18	4.18	0.206	0.525 8		
46~60 d	4.27	3.95	4.64	4.54	0.206	0.173 5		
61~75 d	4.31	3.88	4.06	4.69	0.163	0.102 5		
76~90 d	3.80[b]	3.98[b]	4.54[ab]	4.96[a]	0.154	0.019 3		

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P＞0.05)，不同小写字母表示差异显著(P＜0.05)。下表同。

In the same row, values with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P＜0.05). The same as below.

2.2 肉犊牛血清生化指标

由表 3 可知，肉犊牛血清 GLU、TG、GH、INS 和 PG 浓度未受到饲粮 NFC/NDF 影响（P>0.05）。A 组血清 IGF-Ⅰ浓度与 C 组差异不显著（P>0.05），其他各组间差异显著（P＜0.05），D 组最高。A 组血清 LEP 浓度显著高于 C 组和 D 组（P＜0.05），其他组间差异均不显著（P>0.05）。

肉犊牛血清 GLU、GH 和 INS 浓度极显著的受到日龄的影响（P＜0.01）；肉犊牛日龄显著的影响了血清 LEP 浓度（P＜0.05）；肉犊牛日龄不影响血清 TG、IGF-Ⅰ和 PG 浓度（P>0.05）。除血清 INS 浓度显著受组别与日龄交互作用的影响（P＜0.05）外，其他血清生化指标均不受组别与日龄交互作用的影响（P>0.05）。

表 3　饲粮 NFC/NDF 对肉犊牛血清生化指标的影响

Table 3　Influences of dietary NFC/NDF on serum biochemical indexes of meat calves

项目 Items	组别 Groups				SEM	固定效应 P 值 P-value of fixed effects		
	A	B	C	D		组别 Group	日龄 Days of age	组别×日龄 Group×days of age
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	4.72	4.55	4.47	4.63	0.073	0.195 4	0.000 6	0.499 1
甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.15	0.14	0.14	0.12	0.005	0.654 1	0.070 8	0.901 1
生长激素 GH/(ng/mL)	4.64	4.38	3.99	4.16	0.095	0.284 9	0.000 1	0.818 9
胰岛素样生长因子-Ⅰ IGF-Ⅰ/(ng/mL)	197.42[b]	182.12[c]	194.91[b]	208.80[a]	2.475	0.015 1	0.498 7	0.200 7
胰岛素 INS/(μIU/mL)	20.00	19.01	21.58	16.79	0.773	0.261 6	0.001 1	0.012 1
胰高血糖素 PG/(pg/mL)	95.42	94.75	94.99	92.82	1.056	0.5481	0.169 5	0.058 5
瘦素 LEP/(ng/mL)	5.96[a]	5.57[ab]	5.20[b]	5.10[b]	0.093	0.0232	0.043 5	0.910 6

2.3　肉犊牛营养物质表观消化率

由表 4 可知，肉犊牛 30 d 时，各营养物质表观消化率均不受饲粮 NFC/NDF 的影响（*P*>0.05）。90 d 时，A 组 DM 的表观消化率显著高于 C 组和 D 组（*P*＜0.05），其他组间差异不显著（*P*>0.05）；OM 有随饲粮 NFC/NDF 降低而降低的趋势（*P*=0.057 6）；A 组 NDF 的表观消化率显著高于 B 组、C 组和 D 组（*P*＜0.05），B 组、C 组和 D 组间差异不显著（*P*>0.05）；A 组 ADF 的表观消化率显著高于 B 组和 D 组（*P*＜0.05），C 组显著高于 D 组（*P*＜0.05），其他各组间皆无显著差异（*P*>0.05）。

表 4 不同 NFC/NDF 饲粮对肉犊牛营养物质表观消化率的影响

Table 4　Influences of diets with different NFC/NDF on nutrient apparent digestibility of meat calves

项目	组别 Groups				SEM	*P* 值
Items	A	B	C	D		*P*-value
代谢体重 $W^{0.75}$/kg						
30 d	36.72	36.11	35.85	34.22	0.711	0.242 9
90 d	50.65	48.75	47.82	47.06	0.746	0.229 5
干物质采食量 DMI/(kg/d)						
30 d	3.54	2.91	2.99	3.08	0.160	0.345 2
90 d	5.27	4.73	4.91	4.93	0.109	0.212 0
干物质采食量/代谢体重 DMI/$W^{0.75}$/(kg $W^{0.75}$/d)						
30 d	0.09	0.08	0.08	0.09	0.004	0.254 8
90 d	0.10	0.10	0.11	0.10	0.003	0.517 6
粪排出量 Fecal output/(kg/d)						
30 d	1.42	1.15	1.30	1.37	0.063	0.330 1
90 d	1.68	1.63	2.00	1.92	0.071	0.166 1
表观消化率 Apparent digestibility/%						
干物质 DM						
30 d	58.26	60.90	56.53	55.79	1.526	0.395 5
90 d	67.90^{a}	65.32^{ab}	59.26^{b}	58.60^{b}	1.403	0.034 2
有机物 OM						
30 d	63.33	64.79	60.42	59.92	1.435	0.402 8
90 d	71.64	67.65	63.49	62.69	1.347	0.057 6
中性洗涤纤维 NDF						
30 d	73.50	65.38	65.87	66.75	1.421	0.121 7
90 d	74.11^{a}	69.42^{b}	67.18^{b}	65.35^{b}	0.987	0.004 0
酸性洗涤纤维 ADF						
30 d	45.96	30.90	45.13	37.48	2.633	0.118 4
90 d	49.50^{a}	40.24^{bc}	46.43^{ab}	35.99^{c}	1.684	0.010 1

2.4　肉犊牛能量利用率

由表 5 可知，饲粮 NFC/NDF 对 30 d 肉犊牛的各项能量指标均无显著影响（P>0.05）。90 d 时，D 组 CH_4E 显著高于 A 组、B 组和 C 组（P<0.05），且 A 组、B 组和 C 组间差异不显著（P>0.05）；A 组尿能排出量显著高于 B 组和 C 组（P<0.05），其他各组间差异不显著（P>0.05）；A 组 GE 消化率显著高于 C 组、D 组（P<0.05），其他各组间差异不显著（P>0.05）；A 组和 B 组 GE 代谢率显著高于 D 组（P<0.05），其他各组间差异皆不显著（P>0.05）；A 组、B 组和 C 组消化能代谢率差异不显著（P>0.05），但均显著高于 D 组（P<0.05）。

表 5　饲粮 NFC/NDF 对肉犊牛能量利用率的影响

Table 5　Influences of dietary NFC/NDF on energy utilization rate of meat calves

项目 Items	组别 Groups A	B	C	D	SEM	P 值 P-value
食入总能 GEI/[MJ/(kg W$^{0.75}$ • d)]						
30 d	1.45	1.21	1.27	1.38	0.055	0.235 6
90 d	1.63	1.49	1.62	1.56	0.054	0.436 9
粪能 FE/[MJ/(kg W$^{0.75}$ • d)]						
30 d	0.44	0.38	0.45	0.48	0.022	0.369 8
90 d	0.40	0.41	0.50	0.51	0.023	0.206 0
尿能 UE/[MJ/(kg W$^{0.75}$ • d)]						
30 d	0.03	0.02	0.03	0.03	0.002	0.487 2
90 d	0.03^{a}	0.02^{b}	0.02^{b}	0.03^{ab}	0.002	0.036 8
甲烷能 CH_4E/[MJ/(kg W$^{0.75}$ • d)]						
30 d	0.07	0.06	0.06	0.07	0.002	0.253 3
90 d	0.09^{b}	0.09^{b}	0.10^{b}	0.13^{a}	0.005	0.016 2
总能消化率 GE digestibility/%						
30 d	68.97	68.90	65.26	65.73	1.235	0.341 1
90 d	75.43^{a}	72.57^{ab}	69.61^{b}	67.05^{b}	1.080	0.024 5
总能代谢率 GE metabolic rate/%						
30 d	61.83	62.11	57.83	58.18	1.342	0.595 7
90 d	67.97^{a}	65.08^{a}	62.57^{ab}	56.97^{b}	1.249	0.006 0
消化能代谢率 DE metabolic rate/%						
30 d	89.47	90.15	88.57	88.50	0.443	0.563 7
90 d	90.07^{a}	89.59^{a}	89.87^{a}	84.88^{b}	0.547	<0.000 1

2.5　肉犊牛氮代谢

由表 6 可知，饲粮 NFC/NDF 对 30 d 时肉犊牛的氮代谢指标无显著影响（P>0.05）。90 d 时，A 组和 D 组尿氮显著高于 B 组和 C 组（P<0.05），A 组消化氮显著高于 B 组和 C 组（P<0.05）。

表 6　饲粮 NFC/NDF 对肉犊牛氮代谢的影响

Table 6　Influences of dietary NFC/NDF on nitrogen metabolism of meat calves

项目 Items	组别 Groups A	B	C	D	SEM	P 值 P-value
食入氮 N intake/[g/(kg $W^{0.75}$ • d)]						
30 d	2.17	1.78	1.77	2.03	0.081	0.219 3
90 d	2.37	2.11	2.15	2.27	0.038	0.054 9
粪氮 Fecal N/[g/(kg $W^{0.75}$ • d)]						
30 d	0.75	0.66	0.69	0.74	0.032	0.800 7
90 d	0.67	0.67	0.79	0.74	0.026	0.281 1
尿氮 Urine N/[g/(kg $W^{0.75}$ • d)]						
30 d	0.50	0.33	0.39	0.48	0.030	0.126 7
90 d	0.53[a]	0.35[b]	0.35[b]	0.48[a]	0.026	0.010 3
沉积氮 Retained N/[g/(kg $W^{0.75}$ • d)]						
30 d	0.92	0.78	0.69	0.82	0.060	0.667 3
90 d	1.18	1.09	1.01	1.05	0.037	0.473 6
氮沉积率 N deposition rate/%						
30 d	40.96	44.13	39.25	40.73	2.184	0.913 1
90 d	49.45	51.14	47.45	46.44	1.424	0.683 3
消化氮 Digestible N/[g/(kg $W^{0.75}$ • d)]						
30 d	1.42	1.12	1.08	1.42	0.069	0.278 8
90 d	1.71[a]	1.45[b]	1.37[b]	1.54[ab]	0.040	0.008 5
氮表观消化率 N apparent digestibility/%						
30 d	64.50	63.07	61.05	64.06	1.497	0.889 5
90 d	71.97	68.11	63.51	67.75	1.143	0.063 5

3　讨　论

3.1　饲粮 NFC/NDF 对肉犊牛生长性能的影响

饲粮结构影响饲粮营养价值高低，进而影响机体对营养物质的吸收利用，最终影响机体生长发育。1~90 d 夏杂公犊牛胃肠道未发育完全，对营养物质的消化、吸收和利用有限，饲喂低营养物质饲粮会抑制机体的生长发育；高非纤维性碳水化合物（NFC）饲粮在瘤胃中更易发酵，使得丙酸浓度增加。丙酸可通过糖异生作用转化成葡萄糖为机体提供能量，促进犊牛生长[11]。本试验促进犊牛生长的结果与刘晓辉等[12]的研究结果一致，但汪利等[13]得到了不太一致的结果，可能是因为所喂饲粮的不同，同时试验动物品种、性别和年龄也是造成结果出现差异的原因。DMI 与犊牛 ADG 息息相关，本试验中，NFC/NDF 最高的饲粮中 NDF 含量相对最低，犊牛喜采食且本组饲粮营养物质含量最高，因此犊牛 ADG 最高，达到了 1.14 kg/d。

3.2　饲粮 NFC/NDF 对肉犊牛血清生化指标的影响

IGF-Ⅰ经肝脏分泌进入血液后与其结合蛋白结合，然后被运输到其靶器官上（如肌肉和骨骼）发挥作用。GH 和 IGF-Ⅰ构成 GH-IGF 轴共同调节机体生长发育，GH 可刺激肝脏生成 IGF-Ⅰ，同时 IGF-Ⅰ对 GH 的生成有一定的抑制作用[14]。但本试验中 GH 和 IGF-Ⅰ两者并未呈现相互影响的关系，采食 NFC/NDF 为 1.35 饲粮的犊牛因 DMI 提高而促进了体重增长，但 IGF-Ⅰ浓度最高值却出现在 NFC/NDF 为 0.80 的饲粮组，与董文超[15]研究结果一致。也许是低饲粮营养水平不能满足犊牛需要，破坏了 GH-IGF 轴的平衡；此外，随着饲粮 NFC 含量的降低，饲粮适口性变差，使部分试验动物出现挑食现象。LEP 的本质是由脂肪细胞分泌的一种蛋白质，作用主要是调节能量的平衡[16]，进入血液后参与糖、脂肪和能量等的代谢，同时对其他激素的分泌液也有一定的影响。有研究表明，4~6 月龄犊牛的血浆 LEP 浓度受饲粮营养水平的影响[17]，本试验中血清 LEP 浓度也随饲粮 NFC/NDF 的降低出现了显著降低，与犊牛能量消化代谢和增重趋势一致，说明高营养水平饲粮可以促进 LEP 的分泌，利于犊牛生长。

3.3　饲粮 NFC/NDF 对肉犊牛营养物质消化代谢的影响

本试验结果表明，30 和 90 d 的犊牛代谢体重（$W^{0.75}$）和 DMI/$W^{0.75}$ 组间差异不显著，说明用于做代谢试验的犊牛符合本试验要求。已有研究表明，粗饲料容易使机体产生饱腹感，随饲粮中粗饲料比例的增加，动物 DMI 逐渐降低[18]。但本试验中 30 d 犊牛的 DMI 除 NFC/NDF 为 1.35 的组外，其他组 DMI 随饲粮中 NDF 含量的增加而增加，表明随着饲粮中 NFC/NDF 的降低（从 1.23 降至 0.80），机体需采食更多的饲粮才能满足其需要；而 NFC/NDF 为 1.35 组的饲粮 NFC 含量最高，适口性好，犊牛喜采食，所以采食量高与其他组。

研究发现，可以用 DM 和 OM 的表观消化率来衡量机体健康状况和胃肠道发育状况[18]。本试验中各组犊牛均按体重的百分比给料，所食入营养物质的多少则与饲粮组成有关。有研究发现，饲粮结构对反刍动物营养物质的消化代谢有重要的影响[18]。30 d 时犊牛对 DM 和 OM 的表观消化率无影响，但 NFC/NDF 为 1.23 组最高，说明这组饲粮营养水平已能满足犊牛需要。90 d 时随着饲粮易消化碳水化合物含量提高，供给给瘤胃微生物的碳源增加，在氮源足够的基础上，微生物增殖和新陈代谢活跃，饲粮 DM 和 OM 的表观消化率提高，与 Júnior 等[19]的研究结果一致。

机体对 NDF 和 ADF 的消化利用情况可在一定程度上反映瘤胃的发育情况。高 NDF 饲粮，刺激了瘤胃蠕动，减少了饲粮在瘤胃中的滞留时间，使其对 NDF 和 ADF 的消化利用率降低[20]。这与禹爱兵等[21]的研究结果犊牛对营养物质的消化率随饲粮 NDF/NFC 的增加而降低一致。而 Blaxter[10]的研究发现，当饲粮中 NDF 含量为 33.26%时 35~50 kg 肉羊的 NDF 和 ADF 的表观消化率却最低，分别为 32.76%和 23.15%，大量可发酵碳水化合物的发酵使瘤胃 pH 降低，抑制了纤维分解菌的活性，降低了 NDF 和 ADF 的表观消化率[22-23]，但本试验中并未出现这种情况，估计是 3~6 月龄犊牛胃肠道发育并不完善，对所食入营养物质不能完全消化利用，所以并未造成瘤胃液 pH 过低而影响纤维分解菌活性，所以未影响 NFC/NDF 为 1.35 组犊牛 NDF 和 ADF 的表观消化率。

3.4　饲粮 NFC/NDF 对肉犊牛能量利用率的影响

本试验中，犊牛采食 NFC/NDF 逐渐降低的 4 种饲粮 30 d 后，其 GE 消化率和 GE 代谢率分别维持在 67%和 60%左右，虽然犊牛对能量的利用率组间差异不显著，但在一定程度上改善了犊牛对能量的利用，提高了犊牛的 ADG，因此提高能量利用效率的关键是提高能量的代谢率[24]。当饲粮中 NDF 含量提高时，瘤胃微生物对碳水化合物的发酵主要是“5G→6 乙酸+2 丙酸+丁酸+二氧化碳+3 甲烷+6 水”形式[25]，同时乙酸的大量生成增加了其降解过程中氢离子的产生[26]，使瘤胃甲烷的产量增加。尿能受蛋白质代谢产物的影响，NFC/NDF 为 1.35 和 0.80 组犊牛的尿氮含量显著高于 1.23 和 0.94 组，使尿能增加。90 d 犊牛对 GE 消化率和 GE 代谢率及消化能的代谢率均随饲粮 NFC/NDF 的降低而降低，分别在 71%、62%和 80%左右，一方面是因为随饲粮中 NFC/NDF 的降低（由 1.35 降至 0.80），饲粮营养水平和易消化程度降低，机体需要消耗更多的时间对饲粮进行反刍和消化[3]；另一方面可能是因为经 90 d 的饲养试验后，犊牛由于采食不同结构饲粮胃肠道已发生改变，从而影响了能量的利用率。本试验中 NFC/NDF 为 1.35 和 1.23 组犊牛对能量的利用率组间差异不显著，但 NDF 和 ADF 的表观消化率差异显著，一方面说明机体对营养物质的利用率并不完全取决于其对营养物质的消化率,尤其是表观消化率，另一方面说明 NFC/NDF 为 1.23 组饲粮可以满足此阶段犊牛对营养物质的需要量，但并不能提供多余的营养物质供机体利用，所以在生长发育方面 NFC/NDF 为 1.23 组慢于 NFC/NDF 为 1.35 组。

3.5　饲粮 NFC/NDF 对肉犊牛氮代谢的影响

反刍动物对氮的利用主要是氮代谢途径[27]，来源主要是机体对蛋白质的降解和微生物对蛋白质的合成。犊牛将多余的蛋白质通过尿氮的形式排出体外，本试验 4 组饲粮蛋白质水平相近，由于 NFC/NDF 为 1.35 和 0.80 组犊牛饲粮采食量高，相对应的尿氮和氮表观消化率皆较高。Raven[28]发现，提高犊牛饲粮营养物质含量可提显著高沉积氮，本试验发现犊牛沉积氮均在 NFC/NDF 为 1.35 组最高，但氮沉积率皆在 NFC/NDF 为 1.23 组最高，可能饲粮营养水平的增加使在 NFC/NDF 为 1.35 组犊牛内脏器官周围脂肪沉积增加，使其肾脏功能受到一定的影响，导致氮沉积率降低。这与刘清清[29]的研究结果不太一致，也许是试验饲粮和试验动物的不同造成了结果的不同。

3.6 日龄对肉犊牛生长性能、血清生化指标和营养物质消化代谢的影响

随着犊牛日龄的增加，各项机能更加完善，对营养物质的利用率提高[3]，生长速度提高。同时与犊牛生长发育相关的血清生化指标也相应地升高或降低，呈现与动物生长相同的规律。胃肠道的发育对营养物质的消化代谢有直接的关系。在本试验中，30 d 时，犊牛胃肠道正在发育，微生物区系不健全，对各种消化酶的分泌少且酶活性低，对营养物质和能量利用程度低；随着日龄和食入饲粮的刺激，90 d 时犊牛胃肠道发育更加完善，微生物区系消化酶系统逐渐建立，能更加充分的消化吸收所食入的饲粮，因此犊牛对营养物质的消化代谢能力增加。

4 结 论

在本试验条件下，NFC/NDF 为 1.35 的饲粮可以满足 3~6 月龄肉犊牛对营养物质的需求，采食该饲粮不但可以使肉犊牛保持较高的 ADG，而且此饲粮易消化利用，采食后相关血清生化指标均在正常范围内，并未影响犊牛健康。

参考文献:

[1] 中国统计年鉴网.中国畜牧业统计年鉴[M].北京：中国农业出版社,待补充年.

[2] LIU Q,WANG C,ZHANG Y L,et al.Effects of 2-methylbutyrate supplementation on growth performance and ruminal development in pre-and post-weaned dairy calves[J].Animal Feed Science and Technology,2016,216:129–137.

[3] MAZZENGA A,GIANESELLA M,BRSCIC M,et al.Feeding behaviour,diet digestibility,rumen fluid and metabolic parameters of beef cattle fed total mixed rations with a

stepped substitution of wheat straw with maize silage[J].Livestock Science,2009,122(1):16–23.

[4] MALISETTY V,YERRADODDI R R,DEVANABOINA N,et al.Effect of feeding sorghum straw based complete rations with different roughage to concentrate ratio on dry matter intake,nutrient utilization,and nitrogen balance in Nellore ram lambs[J].Tropical Animal Health and Production,2014,46(5):759–764.

[5] 杨艳玲,张福寿,高智莹,等.麦秸型粗饲料日粮不同精粗比对瘤胃内环境和血液指标的影响[J].江苏农业学报,2013,29(3):586–591.

[6] SUDRE K,CASSAR-MALEK I,LISTRAT A,et al.Biochemical and transcriptomic analyses of two bovine skeletal muscles in Charolais bulls divergently selected for muscle growth[J].Meat Science,2005,70(2):267–277.

[7] 董红敏,李玉娥,林而达,等.六氟化硫(SF_6)示踪法测定反刍动物甲烷排放的技术[J].中国农业气象,1996,17(4):44–46.

[8] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2007:49–151.

[9] 董瑞阳.粗饲料组合对泌乳牛与干奶牛甲烷产量、瘤胃发酵模式及微生物菌群的影响[D].硕士学位论文.郑州:河南农业大学,2014:6.

[10] BLAXTER K L.The energy metabolism of ruminants[M].London:Hutchinson Scientific and Technical,1962.

[11] 杨凤.动物营养学[M].2 版.北京:中国农业出版社 2008.

[12] 刘晓辉,田军德,刘超,等.不同精粗比对西杂公牛生长发育的影响[J].中国牛业科学,2012,38(3):37–39.

[13] 汪利,刘爱国,吕忠华,等.不同精粗比日粮对肉牛生产性能影响的观察[J].中国畜禽种业,2014,10(4):85–86.

[14] 闫云峰,杨华,杨永林,等.日粮不同蛋白质水平对绵羊 IGF-1 和 GH 分泌及基因表达的影响[J].畜牧兽医学报,2015,46(1):85–95.

[15] 董文超.不同精粗比日粮对干奶期奶山羊肝脏氨基酸代谢及相关激素的影响[D].硕士学位论文.南京:南京农业大学,2012.

[16] 王春艳,杜瑞平,张兴夫,等.瘦素及其生理功能概述[J].动物营养学

报,2012,24(3):423–427.

[17] CHELIKANI P K,AMBROSE D J,KEISLER D H,et al.Effects of dietary energy and protein density on plasma concentrations of leptin and metabolic hormones in dairy heifers[J].Journal of Dairy Science,2009,92(4):1430–1441.

[18] 楼灿,姜成钢,马涛,等.饲养水平对肉用绵羊妊娠期消化代谢的影响[J].动物营养学报,2014,26(1):134–143.

[19] JÚNIOR C S R,MESSANA J D,GRANJA-SALCEDO Y T,et al.Parameters of fermentation and rumen microbiota of Nellore steers fed with different proportions of concentrate in fresh sugarcane containing diets[J].Archives of Animal Nutrition,2016,70(5):402–415.

[20] 许贵善,刁其玉,纪守坤,等.不同饲喂水平对肉用绵羊能量与蛋白质消化代谢的影响[J].中国畜牧杂志,2012,48(17):40–44.

[21] 禹爱兵,王留香,庄涛,等.不同 NDF/NFC 日粮对 3–6 月龄后备犊牛生长发育及营养物质消化代谢的影响[J].饲料工业,2012,33(24):44–48.

[22] SCHWARTZKOPF-GENSWEIN K S,BEAUCHEMIN K A,GIBB D J,et al.Effect of bunk management on feeding behavior,ruminal acidosis and performance of feedlot cattle:A review[J].Journal of Animal Science,2003,25(5):571–572.

[23] NAGARAJA T G,TITGEMEYER E C.Ruminal acidosis in beef cattle:the current microbiological and nutritional outlook[J].Journal of Dairy Science,2007,90(S1):E17–E38.

[24] 穆阿丽,吴乃科,刘法孝,等.4–6 月龄杂交犊牛能量需要量及其代谢规律的研究[J].家畜生态学报,2007,28(1):23–26.

[25] 冯仰廉.反刍动物营养学[M].北京:科学出版社,2004.

[26] 郭嫣秋,胡伟莲,刘建新.瘤胃甲烷菌及甲烷生成的调控[J].微生物学报,2005,45(1):145–148.

[27] 张卫兵,刁其玉,张乃锋,等.日粮蛋白能量比对 8–10 月龄后备奶牛生长性能和养分消化的影响[J].中国农业科学,2010,43(12):2541–2547.

[28] RAVEN A M.Nutritional effects of including different levels and sources of protein in milk replacers for calves[J].Journal of the Science of Food and Agriculture,1972,23(4):517–526.

[29] 刘清清.日粮精粗比对绵羊消化和瘤胃消化代谢的影响[D].硕士学位论文.太谷:山西农业大学,2014.

Effects of dietary non-fiber carbohydrate/neutral detergent fiber on growth performance and nutrient digestion and metabolism of meat male calves

LI Lanjie[1,2] CHENG Shuru[2] DIAO Qiyu[1] FU Tong[3] WANG Ansi[3] LI Ming[3] TU Yan[1*]

(1. *Key Laboratory of Feed Biotechnology of Ministry of Agriculture*, *Feed Research Institute*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100081, *China*; 2. *College of Animal Science and Technology*, *Gansu Agricultural University*, *Lanzhou* 730070, *China*; 3. *College of Animal Husbandry and Veterinary Science*, *Henan Agricultural University*, *Zhengzhou* 450002, *China*)

Abstract: This study aimed to investigate the effects of dietary with non-fiber carbohydrate (NFC)/neutral detergent fiber (NDF) on growth performance, serum biochemical indexes and nutrient digestion and metabolism of weaned meat male calves. Sixty 2- to 3-month-old healthy weaned meat male calves were randomly divided into four groups with fifteen calves each, and were fed four types of total mixed ratio with the same crude protein level and different NFC/NDF [1.35 (group A), 1.23 (group B), 0.94 (group C) and 0.80 (group D), respectively]. The experiment lasted for 105 d with 15 d of adaptation period and 90 d of formal period. Feed intake was recorded everyday, and body weight of calves was measured every 15 d; blood was sampled at 15, 30, 45, 60, 75 and 90 d to determine the concentrations of serum glucose (GLU), growth hormone (GH), insulin-like growth factor -Ⅰ (IGF-Ⅰ), leptin (LEP), insulin (INS), glucagon (PG) and triglyceride (TG); digestion and metabolism experiments were carried out at 30 and 90 d using total feces and urine collection method. The results showed as follows: 1) the diet with high NFC/NDF increased average daily gain (ADG) of calves, and group A was significantly higher than the other 3 groups ($P<0.05$); 2) serum concentration of LEP in group A was significantly higher than that in groups C and D ($P<0.05$), and serum concentration of IGF-Ⅰ in group D was significantly higher than that in the other groups ($P<0.05$); 3) at 90 d, with the decrease of dietary NFC/NDF, the apparent digestibility of dry matter, acid detergent fiber and neutral detergent fiber,

---

*Corresponding author， professor， E-mail: tuyan@ caas.cn （责任编辑 王智航）

as well as gross energy (GE) digestibility, GE metabolic rate and digestive energy metabolic rate were decreased, and group A was significantly higher than group D (*P*<0.05); methane energy in group D was significantly higher than that in the other groups (*P*<0.05); urine energy, urine nitrogen and digestible nitrogen in group A were significantly higher than those in groups B and C (*P*<0.05). To sum up, dietary NFC/NDF of 1.35 can meet the nutrient needs of meat calves at 3 to 6 months of age, the diet can not only make calves to maintain a high ADG of 1.14 kg/d and is easy to digest, and serum biochemical indexes were in normal range after feeding without influence on the health of calves.

Key words: meat calves; non-fiber carbohydrate/neutral detergent fiber; growth performance; serum biochemical index; digestion and metabolism